

跨中转联器在双塔部分斜拉桥中的应用研究

惠 斌 李盼到 郑君长 毕 强

(北京市市政工程设计研究总院 北京 100082)

摘 要:双塔斜拉桥的拉索一般均是相对于主塔对称布置,在主塔设置锚头或索鞍、主梁内设置锚头进行锚固。主跨跨中为无索区,设计时一般通过在此区域布设预应力钢束来弥补这个缺陷。作者在文中提出了斜拉桥拉索跨中转联器的概念,有效的解决了双塔以上斜拉桥无索区的拉力问题,并在呼和浩特市东河跨河桥的设计中,首次采用了两塔柱最外侧拉索连续布置的方式,从而避免了无索区的存在,且大大简化了锚固构造,取得了较好的效果。

关键词:矮塔斜拉桥 无索区 通长索 跨中转联器

1 前言

Extradosed Bridge是1988年由法国人Mathivat提出的一种新的桥梁结构形式。在我国称为“部分斜拉桥”,也有“矮塔斜拉桥”的称谓。目前,这种介于斜拉桥与连续梁、连续刚构或体外预应力箱梁桥之间的新桥型,已在我国得到了认同和发展^[1]。在解决较大跨径的梁式桥存在长期使用状态下跨中下挠的问题中,更体现出部分斜拉桥的优势,有效弥补了梁式桥与特大跨径桥之间中大跨径桥型的不足,在今后景观桥、实用的大中跨径桥梁中均会有更广阔的发展前景^[2]。

部分斜拉桥的塔高与跨度的比值较小,一般为斜拉桥的 $1/2 \sim 1/3$ 左右,从施工方便、美观及经济合理性等方面考虑通常塔高取值为主跨径的 $1/8 \sim 1/12$,由于部分斜拉桥的塔柱较矮,拉索与塔柱的夹角较大,因此斜拉索可以连续穿越塔顶索鞍,塔上不设锚固端,使得拉索通过塔顶位置时可以尽可能密集地布置在塔柱上部区段,最大限度地利用了塔高^[3]。对于双塔斜拉桥,拉索一般均相对于主塔对称布置,在主梁内设置锚头进行锚固。主跨的跨中为无索区,此段主梁无法享受斜拉索产生的轴力作用和正弯矩效果,一般通过在此区域布设较多的预应力钢束来弥补这一缺陷。

借鉴部分斜拉桥塔上索鞍应用的经验和体外预应力索转向器应用的启示,引入斜拉索“跨中转联器”的概念,将“跨中转联器”定义为在斜拉桥两桥塔之间,联结对称于主梁跨中的相邻两

根斜拉索的转向设施。通过跨中转联器使得两根斜拉索合成通长索,类似于自锚式悬索桥的原理,从而解决了部分斜拉桥跨中无索区无轴向力的问题,同时简化了施工工艺,节省了一对斜拉索锚具。应用“跨中转联器”把主塔之间最外侧的拉索在中跨跨中连续布设,在结构受力、构造布置及施工等方面均取得了很好的效果。“跨中转联器”已申报并取得了国家实用新型专利^[5],并且在呼和浩特市东河跨河桥的工程设计中得到实际应用和验证。

2 跨中转联器的设计条件

2.1 合理有效地采用跨中转联器,必须实现拉索的可更换性。

“跨中转联器”是一种首次采用的设计观念,其具体形式可以采用多种方式,如部分斜拉桥塔顶索鞍采用的分丝管、预埋双层曲线钢管以及体外预应力索的转向器等。

2.2 “跨中转联器”更适合应用于部分斜拉桥

双塔斜拉桥采用“跨中转联器”设计时,拉索的张拉需通过拉索与塔顶索鞍的相对滑动来实现。由于索鞍对转向角度和转向半径的要求,以及超长拉索施工困难的问题,使得“跨中转联器”更适合应用于部分斜拉桥。

2.3 “跨中转联器”适合应用的设计施工模式

从施工方面考虑,“跨中转联器”适合应用于采用满堂支架施工的中小跨径斜拉桥,若用于采用悬臂浇筑施工的较大跨径斜拉桥时,需采用

跨中先合拢,之后张拉安装有“跨中转联器”的跨中内侧通长索的设计施工模式。

2.4 有效减少“跨中转联器”锚固装置的负担

可以充分利用塔顶索鞍、“跨中转联器”与拉索之间的摩擦,以及二期荷载对塔内外侧索力的影响不同,来有效减小塔顶索鞍及“跨中转联器”使用期锚固装置的负担。

2.5 “跨中转联器”也可应用于普通斜拉桥等

“跨中转联器”也可应用于普通斜拉桥塔内两侧两斜拉索的联结,即在跨中设置转联器,在两塔内进行通常索的张拉。这种布索方式,在解决斜拉—悬索协作体系桥梁于斜拉—悬吊结合面附近结构性能突变的问题上也值得进一步探讨。

3 跨中转联器在通长索中的实际应用

呼和浩特市东河跨河桥工程,景观桥设计为双塔双索面部分斜拉桥,采用了塔梁固结、塔墩分离的结构形式。跨径布置为42.8m+83m+42.8m,桥梁全长168.6m,桥宽32.8m。主梁为变截面箱梁,采用C55混凝土,单箱五室断面,中支点处梁高3.5m,边支点及中跨跨中梁高1.5m;塔柱采用C50混凝土,矩形断面,主梁以上塔高11.37m,塔顶拉索有效高9.37m;拉索采用为 $\phi 55 \times 15.24$ 钢绞线,每个索塔布置三对斜拉索,其中1#索为通长拉索。拉索的梁上间距为10m,塔上间距为0.9m。桥梁结构立面布置见图1,桥梁效果图见图2。

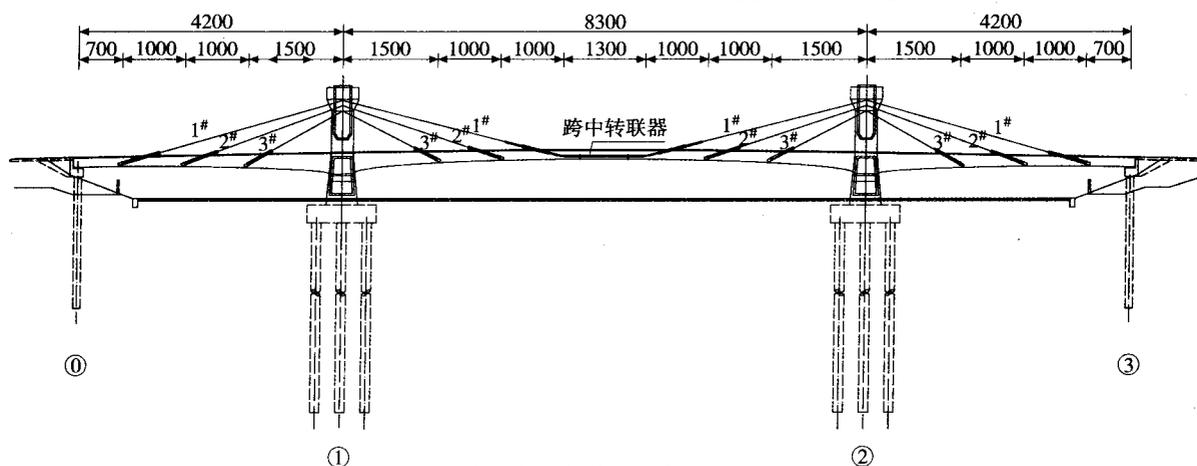


图1 桥梁结构立面布置图

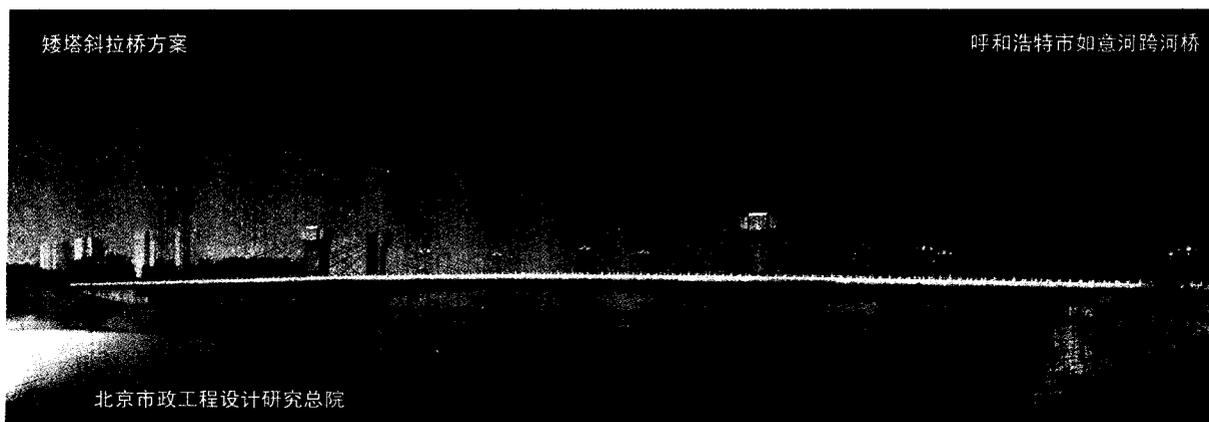


图2 呼和浩特市东河跨河桥效果图

采用“跨中转联器”后,通长拉索只能在两端张拉,中跨部分拉索的拉伸靠斜拉索与塔上索鞍的滑动来实现。因此索鞍与拉索间的摩擦系数要尽可能小,以避免通长拉索跨中段的索力损

失,施工时建议采用在该拉索塔顶索鞍分丝管内涂润滑脂等方式(其它索鞍及转联器分丝管均不得使用),以保证施工张拉顺利、有效减少索力损失。

本桥拉索采用环氧涂层钢绞线+油脂+HDPE套管的方式进行单根钢绞线防护,经多根平行编索紧密束后,采用HDPE外套管进行整体防护。拉索张拉时,钢绞线可在作为单根防护的HDPE套管间进行滑动,经OVM公司测定,两者的滑动摩擦系数仅为0.06,拉索通过塔顶索鞍的摩擦损失 σ_l 可按下式计算^[4]。

$$\begin{aligned}\sigma_l &= \sigma_{con} \left[1 - e^{-(\mu\theta + kx)} \right] \\ &= 1860 \times 0.5 \times \left[1 - e^{-(0.06 \times 0.567 + 0 \times 4.531)} \right] \\ &= 31 \text{ (MPa)}\end{aligned}\quad (1)$$

式中: σ_{con} —拉索的张拉控制应力(MPa);
 μ —拉索与PE套间的摩擦系数,取0.06;
 θ —拉索在塔顶索鞍处的转角(rad);

k —管道每米局部偏差对摩擦的影响系数,取0;

x —塔顶索鞍的长度(m)。

东河跨河桥拉索的张拉控制力为6000kN,由于 σ_l/σ_{con} 为0.03,则拉索的摩擦损失仅为180kN,工程上完全可以接受,并且二期恒载的影响还可以调整内侧索力。东河跨河桥通长索在二期恒载作用下,中跨拉索索力较边跨大80kN,从而进一步减小了拉索的摩擦损失对索力的影响。

“跨中转联器”的设计,除满足通长拉索在施工阶段可以滑动,在使用阶段能够可靠锚固的功能外,还要满足拉索更换的要求。本桥借鉴塔顶索鞍的设计思路,“跨中转联器”设计由抗滑锚和分丝管构成,具体构造见图3。

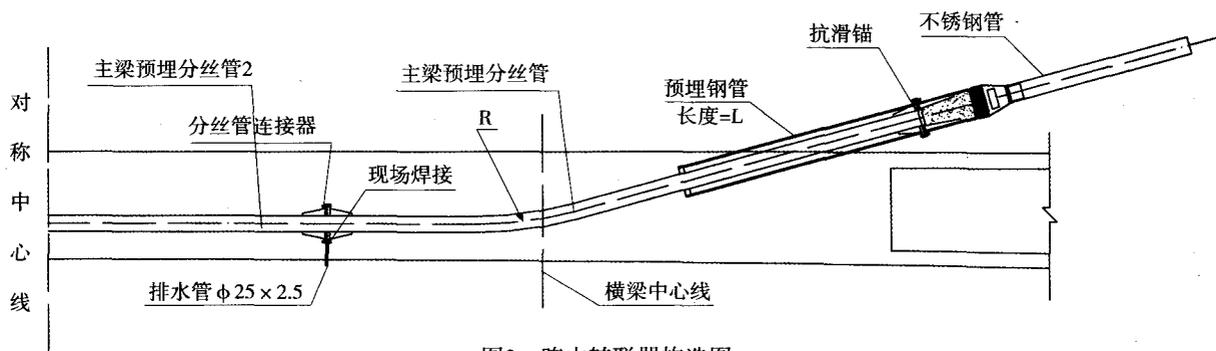


图3 跨中转联器构造图

分丝管可以分散拉索对主梁的局部应力,且非常适合钢绞线拉索可以单根穿索、单根张拉的特点。“跨中转联器”设计为分丝管的构造,可以实现后期拉索的单根更换,使得换索工程更加安全、方便。但为了避免拉索与分丝管由于误差较大轴心不同而造成受弯及由此带来对拉索磨损的破坏作用,分丝管的定位需要非常准确,对施工控制精度要求较高。

“跨中转联器”抗滑锚的设计需考虑“跨中转联器”抗滑移能力、活载产生的最大索力差值以及施工误差(按两侧拉索相对施工误差占拉索张拉力的5%控制)等因素造成的影响。其中“跨中转联器”的抗滑移能力可通过式(1)进行计算;活载产生的最大索力差值根据一边跨及另一侧半中跨满载,其余为空载的加载模式进行计算。东河跨河桥“跨中转联器”抗滑锚的设计

参数见表1。由于“跨中转联器”抗滑移能力190(kN)小于施工误差300(kN),施工期间可以滑动而重新形成平衡,抗滑锚抗滑能力设计值最不利状态为需要克服活载最大不平衡索力,其值大于105(kN)

表1 抗滑锚设计参数

“跨中转联器” 抗滑移能力 (kN)	活载最大不 平衡索力 (kN)	施工误差 (kN)	抗滑锚抗滑 能力设计值 (kN)
190	105	300	≥105

由表中数据可以看出,分丝管与拉索之间的摩擦阻力可以承担部分不平衡索力,降低了抗滑锚的设计难度。

由于通长拉索在“跨中转联器”内完成转向,主梁受到较大拉索径向力的作用,因此应对此段主梁进行防崩设计。东河跨河桥通过在拉索

转点处设置横梁、在拉索转弯段主梁内设置防崩钢筋和型钢等措施解决了这个问题。主梁防崩钢筋及型钢的布置见图4。

东河跨河桥“跨中转联器”的采用，很好地解决了通长索在主梁内锚固、转向以及后期换索的问题。“跨中转联器”构造简单、施工方便、既避免了跨中锚区处大量密布钢筋的浪费以及由此给混凝土振捣施工带来的困难，使该处混凝土的密实性得以有效保障，同时又减少了拉索张拉槽对主梁截面的削弱、锚头防腐处理、梁底密封处理及减轻后期使用养护工作量等，且与拉索锚具相比有更好的经济性。

4 通长索受力性能的计算验证

为了验证通长索在结构受力方面的优越性，分别对采用分离拉索和通长拉索的模型进行计算，计算工况均设计为塔柱最外侧拉索作用6000kN索力。两种模型的结构刚度、约束情况均

相同，主梁的内力计算结果见图5、图6。

由图5、图6可知，通长拉索不但弥补了无索区主梁不能享受拉索轴向力的缺陷，并且可以更好地发挥拉索竖向力的作用，使得跨中相对薄弱的主梁下缘储备了较大的压应力。主梁跨中截面的应力结果比较见表2。

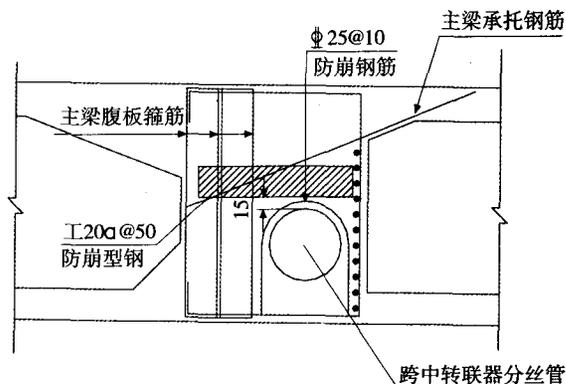


图4 主梁防崩钢筋及型钢布置图

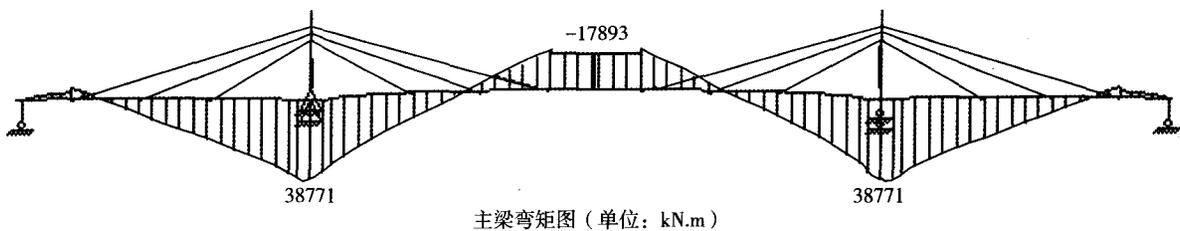
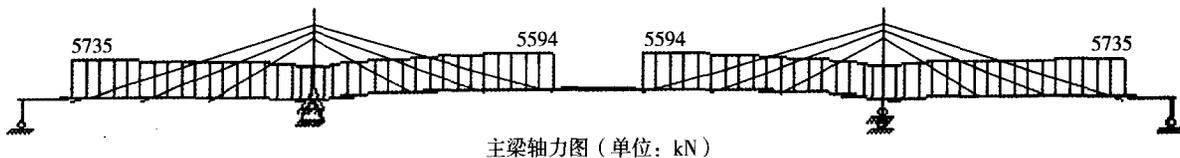


图5 分离拉索模型主梁内力图

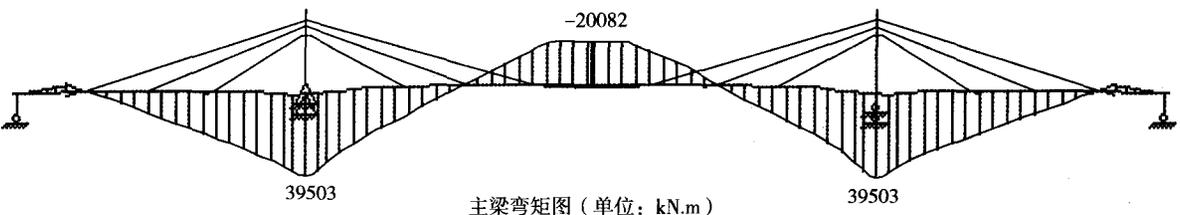
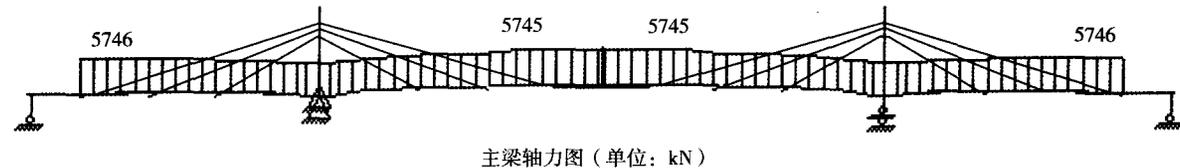


图6 通长拉索模型主梁内力图

(下转第25页)

过大应力,故对挂梁各控制截面布置了应变测点和传感器,以便在提升、回落过程中对应力应变指标进行跟踪监控,保证挂梁在提升、回落过程中的结构安全和施工安全。各幅挂梁分别提升总高度约1.2m,由表2可知,在提升、回落过程中的最大拉、压应力值均满足规范要求^[3],挂梁梁体及牛腿截面安全。

表2 各幅挂梁提升、回落最大拉、压应力值

挂梁编号	挂梁提升		挂梁回落	
	σ_1 (MPa)	σ_3 (MPa)	σ_1 (MPa)	σ_3 (MPa)
上游侧第1幅	0.867	0.918	0.969	0.842
上游侧第2幅	0.926	0.230	0.434	0.498
上游侧第3幅	0.230	0.811	0.995	0.459
下游侧第1幅	0.281	0.230	0.765	1.122
下游侧第2幅	0.587	0.561	0.465	0.324
下游侧第3幅	0.383	0.689	0.645	0.510

*注: σ_1 为最大拉应力, σ_3 为最大压应力。

(上接第14页)

表2 主梁跨中截面应力计算结果比较

布索方式	截面轴力 (kN)	截面弯矩 (kN.m)	上缘应力 (MPa)	下缘应力 (MPa)
分离拉索	0	-17893	-3.97	5.30
通长拉索	5745	-20082	-3.85	6.55

5 结论

5.1 “跨中转联器”有效地改善了主梁的应力状况

通过前文论述分析以及在呼和浩特市东河跨河桥工程中的实际应用,验证了双塔部分斜拉桥采用通长索可以避免分离索产生的无索区对主梁受力的影响,使得梁内跨中产生拉索自锚式轴压力,并且更有效地发挥了拉索竖向力的作用,增加了拉索对主梁跨中的弯矩影响,有效地改善了主梁的应力状况。

5.2 “跨中转联器”施工方便

“跨中转联器”构造简单、施工方便,既避免了跨中锚区处大量密布钢筋的浪费以及由此给混凝土振捣施工带来的困难,同时又减少了拉索张拉槽对主梁截面的削弱,且其具有与拉索锚具相比经济性好的优点。

4 结语

液压提升系统在桥梁加固工程中对大型构件整体大位移提升、回落的应用,大大提高了工程施工的效率,缩短了施工周期;而且由于其自身具有同步控制、自动化程度高的特点,安全可靠,可分阶段提升,便于施工过程控制。因此,对于桥梁加固工程中大型构件整体大位移提升、回落施工,液压提升同步控制技术有着广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 莫天玲,吴志勇等. LSD液压提升系统原理与应用[J]. 欧维姆通讯, 2000, (2): 13-16, 33.
- [2] 甘秋萍,秦立方等. 液压提升系统简介[J]. 建筑机械, 2002, (11): 29-31.
- [3] 广西大学设计研究院. 邕江大桥加固工程施工监控竣工报告[R]. 广西: 2009.

5.3 “跨中转联器”形式种类较多

采用PE护套的钢绞线斜拉索时,“跨中转联器”的具体形式选择的余地较大。采用分丝管能够满足拉索相对滑动的要求,且摩擦系数小,拉索可以采用单根张拉及更换,对转向处混凝土的应力集中有明显改善,施工更为方便。采用曲线钢管的形式或体外索的转向器也能够满足上述要求;采用PE护套的平行钢丝拉索时,“跨中转联器”的形式选择将会受到限制,分丝管及曲线钢管形式的索鞍均不便于满足厂制冷(热)铸墩头锚的安装及更换要求,需要采取特殊的处理方式。

参考文献

- [1] 严国敏. 试谈部分斜拉桥—日本屋代南桥、屋代北桥、小田原港桥. 国外桥梁. 1996(1): 47-50
- [2] 惠斌,徐德标. 潮白河大桥的结构体系. 2005全国桥梁学术会议论文集. 宁波: 2005.10.12~15
- [3] 刘钊,孟少平,臧华,张宇峰,黎兆亮,谢正元. 部分斜拉桥索鞍锚固区设计探讨. OVM通讯, 2003, 4
- [4] 范立础. 预应力混凝土连续梁桥. 北京: 人民交通出版社, 1988年
- [5] 中国专利公报. 北京: 国家知识产权局知识产权出版社, 第48期专利公报, 2007.11.28